

## 提供攝影自動化的互動式規畫系統

蕭向彥

國立政治大學資訊科學系  
s8952@cs.nccu.edu.tw

李蔡彥

國立政治大學資訊科學系  
li@nccu.edu.tw

### 摘要

近幾年，能在虛擬場景中自動地產生相機運鏡的虛擬攝影學之研究越來越活躍。目前在大部份能根據動畫劇本自動地控制虛擬相機的系統中，常是利用幾個電影學的原則或者是以滿足限制的機制來產生運鏡。然而電影學是相當實務導向的領域，若沒有全盤考慮到電影製作團隊中角色的分工與其風格，這樣的虛擬攝影系統是無法實用的。因此在這篇論文中，我們提出了一個互動式的虛擬攝影系統，來模擬製作團隊各角色關鍵的功能。該系統主要分成三個模組，彼此互相連接，分別為director、photographer以及editor。每當系統接收到劇本所發出的事件時，系統就會根據各模組的風格參數以決定相機的運鏡。這些風格參數由使用者指定，也可任意運用在其它的動畫劇本中，以產生電影風格一致的動畫。

**關鍵詞：**Virtual cinematographer, intelligent camera control, camera placement planning, virtual environment

### 1 簡介

不論是傳統電影或是電腦動畫，電影製作是一個複雜的程序，且需要各種領域的專業知識。僅管有最好的演員，若沒有傑出的電影製作團隊也無法創造出優秀的電影。除了攝影師之外，還有許多人扮演重要的角色，決定最後的電影鏡頭。例如導演常常會依據劇本與自己的風格來選擇攝影的方式，並且傳達給攝影師，最後攝影師再根據電影學原則與當時環境的限制，決定相機擺設的位置。整個場景中，很可能架設不只一台的相機平行拍攝，最後都會送到剪接師手邊，他會選擇最合適的影片片段以充份地表現整部電影的情節。

近幾年隨著電腦運算技術的進步，電腦動畫的發展日益蓬勃，能降低動畫師負擔的工具也日趨重要；因此虛擬攝影師的概念由此被提出，希望能根據動畫劇本來產生適當的運鏡。這樣的系統不但可以作為專業攝影師的製作工具，同時也可以用來當作線上遊戲所使用的攝影模組。

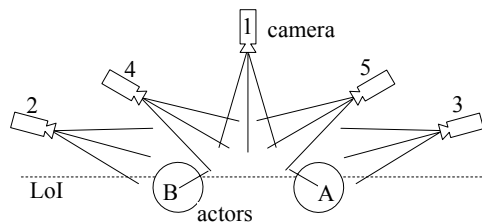
虛擬攝影的研究日益活躍，而且已經有許多智慧型相機操控系統在近幾年被提出來。然而大部份的系統試著將電影學相關知識與原則整理成資訊領域的技術，或有些系統提供使用者各種語言與設定以表達使用者的需求。不論如何，這類系統離實用仍有一段距離。我們認為其原因主要有三個：第一，缺乏標準且合適的動畫劇本語言；第二，大部份的宣告式語言都不夠直覺且過於複雜，以致於只有攝影方面的專家才能使用；第三，這些系統所產生的結果若不經修飾，其品質通常還是很難被接受。

因此本篇論文主要想解決上述後兩個問題，並且設計出一個容易擴增其實用性的虛擬攝影系統。此系統設計為階層式架構共包含director、photographer與editor三個模組以決定相機的組態。這三個模對應著真實電影製作團隊的三個主要角色，如此分工不僅僅為了使之容易理解，同時能讓使用者更容易且快速地與他們生活中的經驗結合而產生類比。此外，為了增加系統的實用性，我們將電影學原則中屬於個人風格的因素表示成量化的參數，使用者可以在與系統互動的過程中，調整出屬於自己風格的參數，並可在其它動畫劇本中使用。

### 2 相關研究

過去十年，在資訊的領域中已有不少關於控制虛擬相機的研究曾被提出來。根據應用的目標與相機的操控方式，我們可以將這些研究大致分為幾個類別。其中值得注意的一類是他們事先定義相機位置與拍攝目標的關係，以達到自動的相機移動[5]。然而這類的研究，若在多目標與複雜的對話下，很容易暴露其缺乏彈性的缺點。另外一類的研究將電影學的原則表現成有限狀態機(finite-state machine)或是宣告式語言，再根據劇本達到自動轉切的目標[4][10]。然而以這類的方法來指定相機的位置常常因控制方式過於簡單，以致於無法處理太複雜的場景。

相對於上述的方法，許多研究透過限制的方式來表達電影學的慣例原則，並且試著尋找適當的相機位置，來符合這些通常有優先順序的限制。為了解決這類的限制滿足(Constraint Satisfaction)問



圖一：架設不同的相機位置在一對演員的情況

題，有些研究用到邏輯推理的方式[6]、數值的方式[5]，而有的則是用基因演算法[9]以求得最佳解。

根據電影學的原理，大多數的動畫劇情中，演員不只有靜態、簡單的對話，還有「僅有動作沒有對話」與「動作且含對話」等形式的活動。如果動畫的劇本能事先得知，相機路徑可以經由路徑規劃的演算法求得，以將拍攝目標保持在可視範圍之內[11]。反之若無法事先得知其劇本（如線上遊戲等即時性的應用），相機追蹤的規劃便成為困難的議題。因為我們不能以後製的方式將電腦產生的動畫精緻化，因此若要讓其結果保持很好的連貫性（Cohesion），也是不容易的問題[8]。

### 3 基礎電影學

本研究的目標是希望能產生符合傳統電影學的運鏡，然而此領域需要具備相當的專業知識與實務上的原則。因此在這一節，我們將提出一些與本系統相關的電影學原則與理論。

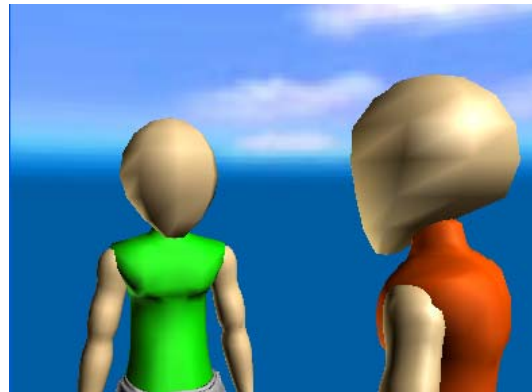
#### 3.1 演員的群組

根據電影學的分類，場景中的對話分為兩人對話、三人對話以及四人以上之對話等三類；其中主要以兩人對話居多，而四人以上之對話則相當罕見。然而一但場景中的人數超過兩人時，這時導演便要思考該如何將演員群組，並且給與每組演員適當的鏡頭。一般來說，二到三個演員會被組成一群，不過這些決定通常要視當時演員們的相對位置與劇本而定。

#### 3.2 相機的架設

不論對話團體的人數為何，都會存在一台主相機(Master shot，如圖一中的camera 1)以含蓋場景中的所有演員。主相機常常是在電影開始與結束時啟動，其目的是為觀眾建立整個場景的空間概念與演員的相對關係。除此之外，當對話的時間過長時，有時主相機也必需負起重新建立這些資訊(re-establishing)的責任。

在兩人對話中，會有兩對相機；每對相機各自相互轉切，而這兩對相機時常也會交替運用。例如



圖二：透過圖一中的2號相機，以external reverse angles之過肩相機拍攝

在一般情況下，2、3號相機相互轉切著，偶爾會用到4、5號特寫相機來進行拍攝。但是不論如何，相機之間不會有任何一個轉切是拍攝同一個演員，例如2號與4號相機的轉切就是不被允許的。在電影學中，1、4、5號相機與1、2、3號相機分別組成*internal reverse angles*與*external reverse angles*兩種常用的攝影原則。其中2號相機透過演員B的肩膀拍攝到演員A(如圖二)，正如3號以相同的模式但相反的目標拍攝。然而4、5號相機則是用特寫鏡頭分別拍攝演員A與B。

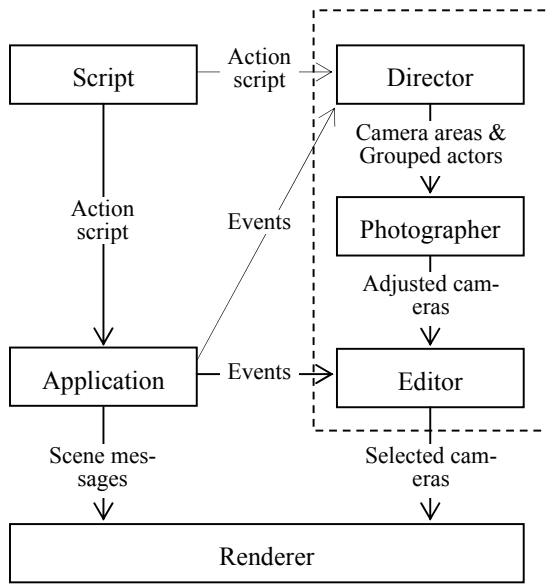
在三人對話中，合適的相機架設通常取決與演員間的距離，由於架設相機的數量增加，我們在此無法逐一列舉。不過根據Arijon書中[1]所舉的例子，我們發現由於每個演員都很可能是對話中的主角，因此為每個演員架設特寫鏡頭是必要的。除此，*interval reverse angles*與*external reverse angles*可以運用在不只一個演員，甚至可以到一群演員，這要視參與對話的人數而定。

#### 3.3 遵守Line of Interest (LoI)

Line of Interest (LoI)是兩個演員之間的連線，然而遵守LoI是最基本的電影學原則之一。此原則限制相機轉切只能在連線的同一側，例如若圖一中的2號相機設置在鏡射於LoI的另外一側時，當2、3號相機轉切時，演員A在螢幕的位置會左右地不斷交換，這樣「跳躍」(jump)情況會造成觀眾視覺上的混淆，這是必需避免的。然而在三人對話中，總共會有兩條LoI，其一連結兩個主要演員，另一條則連結第三個演員與兩個主要演員的中心。不論哪一條LoI都需要被嚴格遵守以免跨躍架設相機。

### 4 虛擬攝影系統架構

這篇論文中，我們提出了虛擬攝影系統(Virtual Cinematographer System, VCS)來自動地產生動畫



圖三：系統整體架構

運鏡，系統整體架構如圖三所示。這裡我們假設VCS能事先分析動畫劇本，而此劇本也會傳送給application，當application依循劇本觸發事件時，VCS才能夠即時地產生對應的相機組態，再將此組態傳遞給Renderer來呈現畫面。

根據傳統電影學分工，將VCS分成三個部份：Director、Photographer以及Editor。在接下來的章節會依序詳述這些部份的核心技術。

#### 4.1 Director

在傳統電影製作的程序中，導演扮演相當重要的角色以決定電影拍攝風格與手法。為了傳達拍攝風格，他必需時常與攝影師溝通，並且清楚接下來的劇本、場景設定以及演員人數與位置，如此才能作出適當的決定。在我們的系統中，這些訊息會事先地傳給director模組，當動畫依循著劇本啟動時，事件（如參與對話的事件等）會被送至director。Director收到該事件後，他會根據對話與一些限制參數來將演員編成數個群組。在演員很多的場景中，群組可使架設相機的數量變少。在編完群組之後，director會對每一個群組設置一個相機區域(Camera Area)。這些區域會傳至photographer，並由他在這個區域裡架設相機的最終位置。

#### 4.2 Photographer

傳統電影製作中，攝影師依照導演粗略給定的相機區域來設置相機，他盡可能地符合該限制，但是仍然有很大的空間運用其攝影的專業知識來選擇最佳的相機位置，例如考慮如何避開障礙，或者如

何選擇適當的角度與背景。同樣的，在VCS中photographer模組將director所指定的相機區域與拍攝對象當作輸入，再依據攝影準則為每組輸入決定最後的鏡頭。這些準則大致有LoI符合度、拍攝目標的遮蔽率等等，最後這些拍攝完成的鏡頭會傳給editor作為剪輯成電影的原料。

#### 4.3 Editor

電影中剪接師所扮演的角色是將所有拍攝到的鏡頭在後製時期中揀選、剪接，盡可能地表現原劇所要表達的視覺訊息。在VCS中，editor模組不需要等所有鏡頭拍完後才後製剪接，事實上在拍攝中，editor就可以根據其專業的標準即時地在這些photographer傳來的鏡頭中選擇最佳的相機轉切。這些標準包含資訊符合程度、資訊期望量或是衰退量等。最後決定好的鏡頭會送到renderer呈現畫面。

### 5 Director的設計

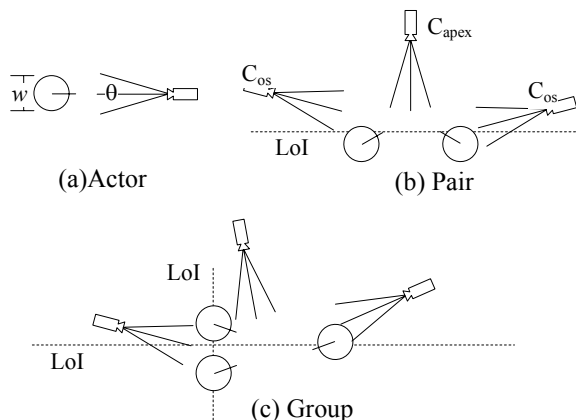
Director的工作是負責將場景中的演員分群以及決定所有相機拍攝的區域，這些決定會受到Director偏好的影響，而分群與相機區域設定又影響了一個電影拍攝的風格。因此我們設計、歸納了一些偏好的參數組，以間接地左右電影的風格。由於整個電影的風格會決定於導演的想法，因此我們將這些偏好參數化。這些參數分別為預期尺寸比例( $s_e$ )與容忍值( $s_t$ )，以及角度容忍度( $\alpha_t$ )。所謂的 $s_e$ 是攝影目標物投影至螢幕與螢幕的預期比例。然而障礙物的存在常常無法確切地達到預期的大小，因此我們指定了 $s_t$ 。然而拍攝物體除了大小的因素外，另一個要考慮的因素是拍攝角度。根據電影學的原則，愈能拍攝到演員的正面愈好，所以我們僅需要指定角度的容忍度即可。這組偏好參數 $W_d = (s_e, s_t, \alpha_t)$ 即為Director的偏好，如此我們就能夠用這些參數來決定群組演員的方式與設定相機區域。

#### 5.1 將演員編成群組

系統中的director如真實的導演一樣，會依照劇本與電影學原則來決定群組演員的類型，而我們定義了三種群組的類型，分別為pair、group以及crowd。假設所有在場景中的演員表示為 $Ar_i$ ，其中 $i$ 為演員的編號。兩個演員 $Ar_i$ 、 $Ar_j$ 如果其距離不會太大以至於彼此在螢幕上皆符合 $s_e$ 的比例，那麼便可以組成一個pair，以 $Pr$ 表示。因此pair的集合可表示為

$$\{Pr(Ar_1, Ar_2) \mid d(Ar_1, Ar_2) < w / (\tan \theta \cdot s_e \cdot (1 - s_t))\},$$

其中 $w$ 為演員的寬度， $\theta$ 為相機的視角。同樣的三個演員若其中兩個已形成pair，第三個演員在螢幕中



圖四：各種不同類型的群組所對應的相機架設

的比例也符合 $s_e$ ，便可以組成group，以 $Gr$ 表示。其group的集合可以表示為

$$\{Gr(Pr_1, Ar_2) \mid d(Pr_1, Ar_2) < w / (\tan \theta \cdot s_e \cdot (1 - s_l))\}$$

第三類的群組稱為Crowd，以 $Cr$ 表示，此為任意數量的group、pair與actor所形成的集合。

圖四為各種不同類型的群組所對應的相機架設。舉例來說，在圖四(a)中，每個演員有自己專屬的特寫鏡頭；每個pair會多出三台相機，包括兩個過肩相機( $C_{os}$ )及一台主相機( $C_{apex}$ )，如圖四(b)所示；至於group，也會多出三台額外的相機如圖四(c)。將所有可能的pair與group群組完成後，若場景還有未群組的演員或總群組數超過一個以上，那麼會將所有的群組與演員再組成crowd，並且場景會額外增加一台相機以確保整個crowd可被含蓋到。

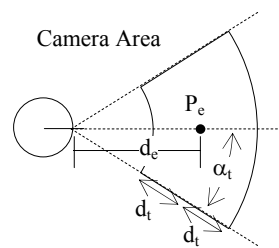
## 5.2 指定相機區域

群組完之後，director會依據其偏好 $W_d$ 來計算一個扇形區域為相機區域(表示為 $\sigma_c$ )，如圖五所示。例如我們用 $s_e$ 可以計算出相機與拍攝目標間的期望距離 $d_e$ ，同樣的距離容忍度 $d_t$ 可以用 $s_l$ 來決定，由這兩個距離與 $\alpha_t$ 便可以求得相機區域。

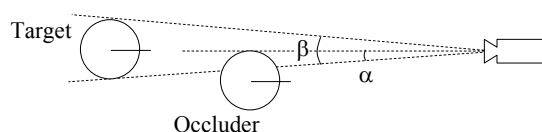
# 6 Photographer的設計

## 6.1 決定最佳的相機位置

在上一節中，我們提到director只是決定一個大致的區域，最後相機的確切位置是photographer所決定的。每一台相機都有焦點(focus)與範圍(scope)兩個屬性；所謂的焦點即為相機拍攝目標，範圍則定義為該相機所攝影到的所有角色；換言之，範圍包含拍攝主角與其它相關角色(包含主角)。因此photographer的工作就是要確保每一台相機不但能照



圖五：Director所指定的相機區域



圖六：受阻率

到其焦點而不被阻擋，還能包含所有在對話的範圍。除上述嚴格的要求外，相機還必須根據每個位置所評定的分數( $S_{loc}$ )，設在最佳的位置上，公式表式如下：

$$S_{loc} = w_e \cdot E + w_l \cdot L + w_u \cdot U$$

其中 $E$ 為期望位置符合度， $L$ 為LoI遵守度以及 $U$ 為非受阻率。這些參數將會後面仔細的定義，而係數 $w_e$ 、 $w_l$ 與 $w_u$ 分別是各參數的權重值，這組係數 $W_p = (w_e, w_l, w_u)$ 則定義為photographer的風格。對於每一個director指定的相機區域，photographer會決定一個位置設置一台相機，此位置擁有最高的 $S_{loc}$ 。

## 6.2 相機位置選擇標準

期望位置( $P_e$ )是director由期望距離所計算出的位置，該位置是排除考慮環境限制後所得的理想位置；在相機區域的中心。而一個相機位置的符合度 $E$ 定義為

$$E = 1 - \frac{|P_e - P_c|}{Q_e}$$

其中 $P_c$ 為現在相機的位置，而 $Q_e$ 為一適當量使 $E$ 值落於0到1之間。

在電影學中希望相機盡量設在靠近LoI的位置，可讓畫面較有空間上的層次感，因此我們希望 $L$ 越高越好。假設目標與相機的向量為 $V_{TC}$ ，該向量與LoI的向量的夾角為 $\phi$ ， $L$ 定義為

$$L = 1 - \frac{|V_{TC}| \cdot \sin \phi}{Q_l}$$

其中 $Q_l$ 為一適當量使得 $L$ 值落於0到1之間：

受阻率( $O$ )表示拍攝目標與障礙物的關係，相機含蓋前者所需視角大小( $\beta$ )與被遮避之視角( $\alpha$ )之

比例稱為受阻率。一個目標物可能有很多的阻擋者，對每個阻擋者都能算出一個受阻率：

$$O_i^{(L/R)} = \frac{\alpha_i}{\beta},$$

然而拍攝目標的實際受阻率並非所有受阻率的相加總，而是視阻擋者的分布而定，我們作法是簡單以  $V_{TC}$  將阻擋者分左阻擋者與右阻擋者，分別記錄左、右最大受阻率相加即可，

$$O = \min(1.0, \max(O_1^L, \dots, O_i^L) + \max(O_1^R, \dots, O_j^R)),$$

然而非受阻率  $U$  與  $O$  互為補數： $U=1-O$ 。

## 7 Editor 的設計

### 7.1 決定最佳的鏡頭

當所有的相機架設完成並拍攝後，最後一個階段就是將這些膠卷交由剪輯師來編輯，成為一部完整的電影。在真實世界中，這些工作必需在後製作時期完成，而且剪輯師只能剪接室中進行。然而在 VCS 中，editor 模組可以直接地在電影進行中即時地剪接，因為此時所有的相機已架設好並平行地拍攝，彼此之間會根據劇本中的事件而轉切。因此 editor 要不斷根據現在發生的事件與過去的記錄來決定該如何轉切。我們用下列四個標準來定義每台相機的分數，分別是相機符合度 ( $M$ )、資訊期望符合度 ( $I$ )、轉切合適度 ( $T$ ) 以及衰退率 ( $D$ )，由這些標準我們可以得到相機評分的公式：

$$S_{cam} = w_m \cdot M + w_i \cdot I(N) + w_t \cdot T + w_d \cdot D,$$

其中  $w_m$ 、 $w_i$ 、 $w_t$  與  $w_d$  為這些指標的權重，而  $N$  為資訊比， $N$  的定義會在後幾節詳述。每一台相機由此公式在每一個單位時間可以得到一個  $S_{cam}$  值，Editor 便可以根據這個分數來轉切評分最高的相機。這些標準的權重則定義為 editor 的風格， $W_e = (w_m, w_i, w_t, N, w_d)$ 。

### 7.2 相機符合度

相機符合度意思是指一個電影發生的事件與各相機之間的關係。在定義相機符合度之前，我們必需先定義相機的特徵向量  $X$ ， $X$  為一布林序列所組成的：

$$X = (i_1, \dots, i_n, j_1, \dots, j_n), \text{ where}$$

$$i_k = \begin{cases} 1, & \text{if } k^{\text{th}} \text{ actor is in the focus.} \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

$$j_k = \begin{cases} 1, & \text{if } k^{\text{th}} \text{ actor is in the scope.} \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

其中  $n$  為場景中演員的數量。假設  $X_c$  與  $X_e$  為現在的鏡頭與期望鏡頭的特徵向量，那相機符合度定義為這兩個向量的 Cosine Measure 相似度：

$$M = \frac{X_c \cdot X_e}{|X_c| \cdot |X_e|}.$$

若某一台相機拍攝的畫面足以表示該事件，那麼相機中的  $M$  值就會很高，反之就會很低。

### 7.3 資訊期望符合度

相機都提供觀眾兩種不同的資訊，一種是縱觀的訊息，另一種則是細節的資訊，然而這兩種訊息和畫面中的人數有關。人數多的話，縱觀的資訊量大，但細節的資訊很少；相對地，人數少的話，細節的資訊是很豐富的。電影一開始，觀眾很需要對場景有縱觀的認識，當他們開始掌握場景與人物的關係時，會很好奇人物細節的部份，若不能滿足他們，就會開始無聊。但持續不斷地細節，又會讓觀眾漸漸地忘記場景與演員的關係，因此又希望有更多場景的訊息，如此循環著。假設縱觀的訊息與細節資訊的累積量分別為  $Y_o$  與  $Y_d$ ，期望符合度  $I$  定義如下

$$I = \frac{1}{1 + \left| \frac{\sum Y_o}{\sum Y_d} - N \right|},$$

在此  $N$  為這兩種資訊的理想比例，當作 editor 的偏好來設定。

### 7.4 轉切合適度與衰退量

如果轉切前後相機的資訊量 (分別標示為  $Y_o$  與  $Y_i$ ) 相差太大，editor 轉切的期望就會下降。換句話說，如果一台相機保持在啟動狀態太久，使用者對轉切相機的期望就會上升。因此轉切合適度定我們定義如下：

$$T = 1 - \frac{|Y_o - Y_i|}{Q_v},$$

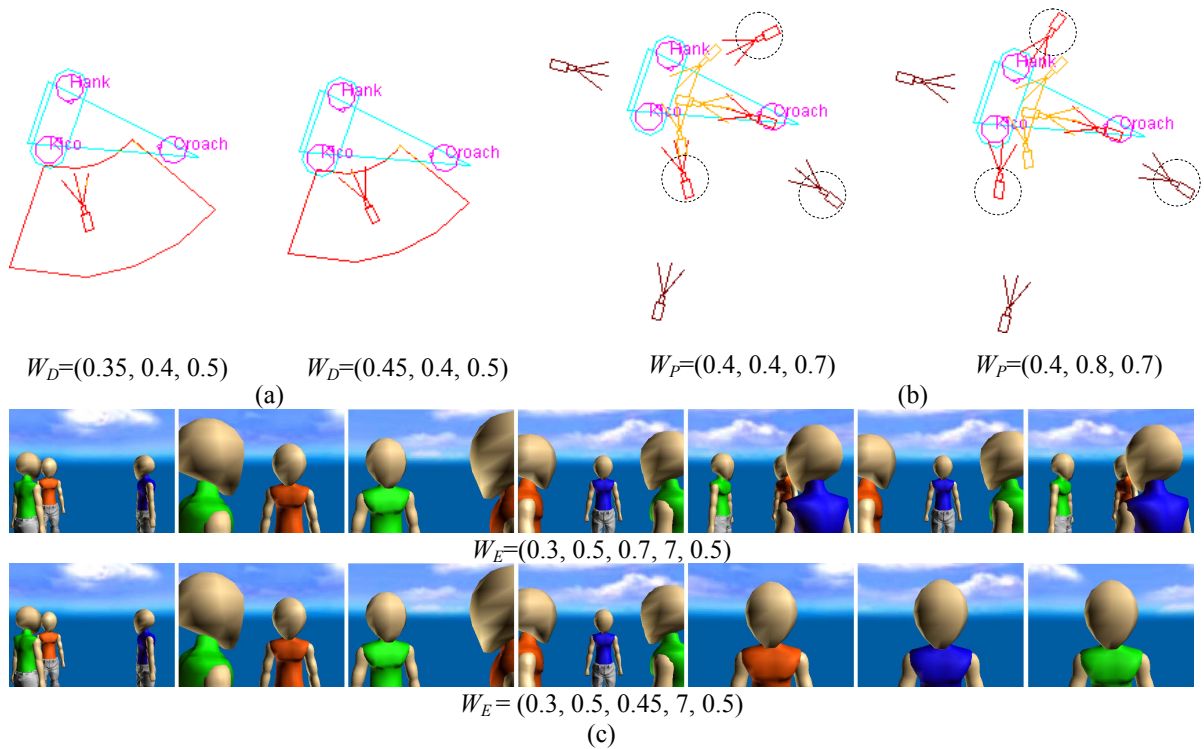
其中  $Q_v$  為一適當量使得  $T$  值落在 0 與 1 之間。

$D$  是範圍 0 到 1 的衰退量，啟動中的相機會設為一定值 ( $D_c$ )，其它的相機會設為一隨時間變化的值 ( $D_v$ )。當  $D_v$  不斷地衰退以致於小於  $D_c$  時，現在正啟動中的相機，下一個時間持續保持啟動狀態的期望就會逐漸喪失。

## 8 實驗結果

上述的 VCS 已經用 Java 實際作出整個的系統，系統的輸入是各模組偏好的設定值以及劇本所描述的對話事件，或是參與對話的事件。接著系統會即時地輸出 2D 的俯視圖以及相機所顯示的 3D 畫面。





圖七：分別調整(a) director、(b) photographer與(c) editor之參數所得到之實驗結果

3D部分我們是用Java3D實作。如果系統產生的結果不是使用者期望的，使用者可以調整各模組的參數直到符合自己的風格為止。

我們分別調整director、photographer與editor模組的參數做為實驗，結果分別如圖七(a)、七(b)與七(c)。實驗的劇本共有三個演員在場景中，對話由紅衣服的演員與綠衣服的演員開始(以 $A_r$ 與 $A_g$ 表示)，而第三個演員則身穿男衣( $A_b$ )。演員之間對話的順序為 $A_r$  to  $A_g$ 、 $A_g$  to  $A_r$ 、 $A_b$  to  $A_r$ 、 $A_r$  to  $A_b$ 、 $A_b$  to  $A_g$ 與 $A_g$  to  $A_b$ 。

根據第三章所描述的群組原則，director會決定架設五台相機在group上，以及三台演員特寫相機，如圖七(b)所示。而架設每台相機前的相機區域則是由director偏好所定，在圖七(a)的例子中，我們將預期尺寸比例的值由0.35調整至0.45，其餘參數不變，因此整個相機區域微微地縮小。在圖七(b)，我們將LoI遵守度由0.4調整至0.8，因此相機移近LoI使畫面較具深度，相對地允許拍攝目標一部份被阻擋。最後在editor實驗中，如圖七(c)，我們將轉切適合度由0.7調整至0.45，維持同等資訊量的要求因而隨時間轉弱，因此當啟動相機隨衰退量遞減時，意味觀眾漸漸地對現在的畫面開始厭倦，於是editor不再將同資訊量的相機相互轉切，反而以特寫相機取代之。

## 9 結論與未來展望

我們提出了一個虛擬攝系統，它提供了互動式的環境並且可以根據劇本自動地產生相機運鏡。其主要的特色是將整個系統分成三個模組來模擬真實電影製作程序中，各角色所負責的工作。除此之外，這些可代表使用者風格的偏好參數區被分類於各個模組，如此模組化的過程可允許任何一個模組被取代或被改進，而且互動式的介面讓使用者去調整屬於自己經驗化的參數，並可將參數應用在其它的電腦動畫上。雖然自動化的電影製作仍然是一個很大的挑戰，但是我們相信這篇論文所提出的虛擬攝影系統能作為一個有效的動畫協助工具，以降低電腦動畫製作的時間。

目前的系統中，劇本僅考慮無動作的對話。在未來其它類型的劇本，例如含動作的對話與純動作而無對話可以很容易地被加入，且延展相關的系統模組。此外，我們希望能改善劇本的機制，使得VCS能夠將多人虛擬環境如線上遊戲整合進此系統。

## 10 致謝

此研究在國科會NSC 92-2213-E-004-001計畫的支助下完成，特此致謝。

## 參考資料

- [1] D. Arijon, *Grammar of the Film Language*, Communication Arts Books, Hastings House, Publishers, New York, 1976.
- [2] W. H. Bares and J. Lester, "Realtime Generation of Customized 3D Animated Explanations for Knowledge-Based Learning Environments," in *Proceedings of the Fourteenth National Conference on Artificial Intelligence*, Providence, Rhode Island, pp. 347-354, 1997.
- [3] W. H. Bares, S. Thainimit, and S. McDermott, "A Model for Constraint-Based Camera Planning," in *Proceedings of the 2000 AAAI Symposium*, pp. 84-91. AAAI Press, 2000.
- [4] D. B. Christianson, S. E. Anderson, L.-W. He, D. H. Salesin, D. S. Weld, and M. F. Cohen, "Declarative camera control for automatic cinematography," in *Proceedings of the Thirteenth National Conference on Artificial Intelligence*, pp. 148-155, 1996.
- [5] S. Drucker and D. Zeltzer, "CamDroid: A System for Implementing Intelligent Camera Control," in *Proceedings of the 1995 Symposium on Interactive 3D Graphics*, pp. 139-144, 1995.
- [6] D. Friedman and Y. Feldman, "Knowledge-Based Formalization of Cinematic Expression and its Application to Animation," in *Proceedings of Eurographics*, pp. 163-168. Saarbrücken, Germany, 2002.
- [7] K. Kennedy, R. E. Mercer, "Planning Animation Cinematography and Shot Structure to Communicate Theme and Mood," in *Proceedings of the 2nd International Symposium on Smart Graphics*, pp. 1-8, Hawthorne, New York, June 11-13, 2002.
- [8] N. Halper, R. Helbing, and T. Strothotte. "A Camera Engine for Computer Games: Managing the Trade-Off Between Constraint Satisfaction and Frame Coherence," in *Proceedings of EUROGRAPHICS 2001*, 2001.
- [9] N. Halper, P. Olivier, "CAMPLAN: A Camera Planning Agent," in *Smart Graphics*, from *Proceedings of the AAAI Spring Symposium*, pp. 92-100, Menlo Park, 2000.
- [10] L.-W. He, M. F. Cohen, and D. H. Salesin, "The Virtual Cinematographer: A Paradigm for Automatic Real-Time Camera Control and Directing," in *SIGGRAPH 96 Proceedings, Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series*, pp. 217-224, 1996.
- [11] T.-Y. Li and T.-H. Yu, "Planning Object Tracking Motions," in *Proceedings of the 1999 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, May 1999.
- [12] R. Thompson, *Grammar of the shot*, Oxford [England], Boston, 1998.
- [13] R. Thompson, *Grammar of the edit*. Oxford [England], Boston, 1993.